第38卷 第5期
2021年9月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 38 No. 5
Sep. 2021

古尔班通古特沙漠短命植物的氮素吸收策略

庄伟伟[1,2,3]， 侯宝林[1,2,3]

（1. 新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室，新疆 乌鲁木齐 830000；2. 新疆特殊环境物种多样性应用与调控重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830000；3. 干旱区植物逆境生物学实验室，新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：研究荒漠生态系统同一生活型植物对氮素的利用是否存在生态位分离，有助于深入了解荒漠植物的生存策略，更好掌握氮素对荒漠植物生存的影响。在古尔班通古特沙漠中，广泛分布着4种短命植物尖喙牻牛儿苗（*Erodium oxyrrhynchum*）、琉苞菊（*Hyalea pulchella*）、假狼紫草（*Nonea caspica*）和飘带果（*Lactuca undulata*），对4种荒漠短命草本植物在不同月份不同土层深度对不同形态氮素的吸收利用进行了研究。结果显示：（1）在不同土层深度，5月4种植物的氮素吸收速率均高于4月的氮素吸收速率；对于不同形态氮素的吸收速率，甘氨酸均低于硝态氮和铵态氮。（2）4月假狼紫草对硝态氮的回收率最高，可达52.3%；5月假狼紫草对铵态氮的回收率最高，可达90.7%。（3）琉苞菊对^{15}N的吸收量低于其他3种植物。（4）4种短命植物不仅可以利用土壤无机氮，还可以有效利用土壤有机氮，且尖喙牻牛儿苗和飘带果对硝态氮有明显的吸收偏好。（5）在古尔班通古特沙漠生态系统中，短命生活型的植物对氮素的吸收能力有着差异和多元化的特点，且均可吸收土壤中的可溶性的有机态氮源。

关键词：短命植物；同位素标记；氮吸收；古尔班通古特沙漠

植物多样性维持的一个重要机制是生态系统物种的共存。不同植物的资源生态位分离是植物共存的主要原因，包括光、水分、营养分配的差异[1]。氮（N）是许多陆地生态系统中的基本元素，但往往会限制植物的维持、生长和繁殖[2]。土壤中存在着丰富多样的化学氮形态，从简单的无机氮，如铵（NH_4^+）、硝酸盐（NO_3^-）到有机氮（游离氨基酸和短肽等），这些氮形态具有不同的性质，例如，可溶性，流动性和毒性等，这将影响植物对氮素的吸收。氮素缺乏是陆地生态系统的普遍现象，因此要从植物对氮素的利用在时间、空间和化学形态上的分离来解释氮素限制生态系统植物的共存[3-4]。自20世纪90年代中后期以来，对有机氮吸收的研究一直是生态系统氮循环的“短板”[5]。更多研究已经证实了，植物可以从土壤中以游离氨基酸的形式提取有机氮、短肽，甚至蛋白质[6]。氮循环被认为是含氮的化合物的解聚，经过微生物胞外酶（包括菌根共生）的裂解，植物或微生物都可以利用这些化合物。人们对生态系统中物种竞争与共存能有更深的认识正是基于植物对有机氮的直接利用的发现[7]。植物对有机氮的吸收已经被用于解释干旱环境中生态系统氮素供给和需求的不平衡的重要原因。

荒漠生态系统是典型的氮素缺乏系统，可利用氮素较少并且具有时间和空间异质性，从而限制了初级生产力[8]。因此，荒漠植物需要演化出成功的氮素营养利用策略才能保证自身的生存。在氮素缺乏的地区，除了无机氮外，植物对有机氮的利用才是保证植物生长繁殖和物种共存的关键。干旱半干旱地区的植物被证实可以通过根吸收氨基酸。在荒漠生态系统中可溶性有机氮的含量可能高于其他生态系统，而土壤中的氮素差异能够显著影响植物对氮素吸收的偏好[9-10]。古尔班通古特沙漠是典型的温带荒漠生态系统，但其草本植物十分丰富，在春季，仅荒漠短命草本植物种类就占该沙漠全部植物物种的47%[11]。如此繁多的植物物种是怎样在短时间内完成整个生长周期？短命草本植物在其不同生长期对有限氮素的吸收利用如

收稿日期：2021-04-06； **修订日期：**2021-05-19
基金项目：国家自然科学基金项目（41763009）；新疆维吾尔自治区教育厅项目（XJEDU2018Y034）
作者简介：庄伟伟（1988-），女，教授，主要从事干旱区植物研究. E-mail: zww8611@sina.com

何？它们是否可以吸收利用土壤中的有机氮进行生长发育？以及它们在氮素的利用上是否存在生态位的分离？此类情况引起了我们的关注。为此，本研究选取了4种荒漠短命草本植物，即尖喙牻牛儿苗（*Erodium oxyrrhynchum*）、琉苞菊（*Hyalea pulchella*）、假狼紫草（*Nonea caspica*）和飘带果（*Lactuca undulata*）进行了^{15}N同位素氮标记以及^{13}C-^{15}N双标记的田间试验，研究了生长季节和施氮土层深度对植物氮素吸收利用的影响。通过研究推测，不同的植物物种在不同的时间和空间变化中利用不同形态的氮素。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于中国科学院新疆阜康荒漠试验站古尔班通古特沙漠的大型永久样地中，该样地建设有围栏，防止大型人为活动以及放牧，气象数据齐全。2019年，在永久样地中，选择地势平坦，结皮发育类型一致，植被覆盖比较均一的区域，设定4个10 m×10 m的样方，每个样方相隔30 m以上，相当于4个重复。阜康气象站数据显示，在^{15}N添加的2次试验期间，样地没有降雨。试验期间样地土壤成分分析如表1所示。

1.2 植物的选择

在样方内，选择4种常见的短命草本植物：尖喙牻牛儿苗、琉苞菊、假狼紫草和飘带果，这4种植物在3月底古尔班通古特沙漠积雪融化后开始萌芽，在4月中旬进入快速生长期，在5月中旬达到最大生物量，6月初枯萎。在每一个10 m×10 m样方内，选取单一植物（或通过早期人为去除其他植物），设定50 cm×50 cm的小样方，每种植物需要16个小样方，共进行2次、2个土层、4个不同氮素形态的同位素^{15}N的添加，氮素添加时间分别为4月中旬和5月中旬。植物4个不同氮素形态处理为：对照组（不加标记氮）、^{15}N-NH_4Cl、^{15}N-KNO_3和^{13}C-^{15}NGlycine（甘氨酸）。

氮素标记试验中，对于每一个小样方，加入氮量为0.6 g·m^{-2}。3种形态的氮素NH_4^+-N、NO_3^--N和Glycine-N具有相等的量（各0.2 g·m^{-2}），但只有1种含同位素^{15}N，同位素氮的浓度分别为^{15}N-NH_4Cl（99.14%）、^{15}N-KNO_3（99.19%）和^{13}C-^{15}NGlycine（99.04%）（试验所用氮素均来自中国科学院北京植物研究所）。将氮素混合物溶解到蒸馏水中，3种具有同位素氮的溶液和对照一起随机对4个10 m×10 m样方中的小样方进行氮素施加。为使植物能吸收均匀分布于样方的氮素，将50 cm×50 cm的小样方平均分成49个方格，每个方格长度约为7.1 cm，在每一方格中间注入等分量的溶液（3 mL）。如果方格中间刚好是植物，^{15}N溶液离开0.5 cm，避免直接注射到根部。在0~5 cm和5~10 cm土壤，注射土层分别为2.5 cm和7.5 cm。利用注射器完成注射，为避免污染植物地上部分，在注射时，用漏斗隔开。氮素添加试验方法参考文献[12]。

1.3 植物的采集和分析

在每一个10 m×10 m样方中，选择1个50 cm×50 cm的样方进行生物量的收集，并且区分不同物种。地上生物量通过刈割法收集，地下生物量分2层[13]，通过50 cm×50 cm×5 cm收集0~5 cm土层的生物量，然后继续挖取5~10 cm的土样，收集地下生物量。植物地上和地下部分的生物量在65 ℃下烘干至恒重，称量。

在氮素施加24 h后，从每1个样方中选择5株个体进行收集。植物的地上部分连同根一起取出，在自来水下冲洗，除去根表面土壤。在0.5 mmol·L^{-1}

表1 不同月份各土壤深度土样成分分析

Tab. 1 Composition analysis of soil samples at various soil depths in different months

	4月		5月	
	0~5 cm	5~10 cm	0~5 cm	5~10 cm
土壤有机碳/%	0.160±0.010	0.113±0.006	0.187±0.021	0.123±0.006
总氮/%	0.135±0.013	0.119±0.020	0.150±0.017	0.111±0.009
铵态氮/(μg·g^{-1})	12.687±1.429	10.563±0.707	14.133±2.599	9.820±1.968
硝态氮/(μg·g^{-1})	22.760±3.525	17.227±1.58	22.457±2.465	16.950±3.071
有机氮/(μg·g^{-1})	13.517±1.920	10.813±1.367	12.647±2.086	9.993±2.113
含水量/%	29.410±4.136	45.390±4.577	19.443±3.099	31.460±2.731

$CaCl_2$溶液中浸泡30 min，除去吸附在根表面的^{15}N，随后用蒸馏水进行冲洗。地上和地下部分分开，在65 ℃下烘干、称量，并且在球磨仪上进行研磨[14]。称取2 mg样品，通过元素分析仪和质谱仪对C，N量以及植物^{13}C（Glycine标记处理）和^{15}N进行分析。利用对照作为植物自然丰度。

总的植物^{15}N的吸收量（$U_{labeled}$，μg·m^{-2}）通过下面的公式计算：

$$U_{labeled}=atom\%ex\times N_{content}\times B \quad (1)$$

式中：$U_{labeled}$表示植物总的同位素吸收量[15]；atom%ex表示原子百分超；$N_{content}$指植物氮浓度；B指植物生物量（g·m^{-2}）。

利用氮同位素^{15}N浓度（$U_{labeled}$）校准植物总的氮吸收[15-16]，公式如下：

$$U_{unlabeled}=U_{labeled}(m_{unlabeled}/m_{labeled}) \quad (2)$$

式中：$U_{unlabeled}$表示植物总的N吸收（μg· m^{-2}）；$m_{unlabeled}$指对照样地土壤本身的氮浓度（μg·g^{-1}）；$m_{labeled}$指总的^{15}N添加量（μg·g^{-1}）。

植物氮的吸收速率（μg·g^{-1}·h^{-1}）利用$U_{unlabeled}$除以根生物量和标记时间。

植物^{15}N回收率（R_{plant}，%）通过下式计算：

$$R_{plant}=U_{labeled}/^{15}N_{added}\times 100 \quad (3)$$

式中：R_{plant}表示植物同位素^{15}N的回收率（%）；$U_{labeled}$表示植物总同位素^{15}N吸收[17]；$^{15}N_{added}$表示每平方米加到土壤中的^{15}N量。

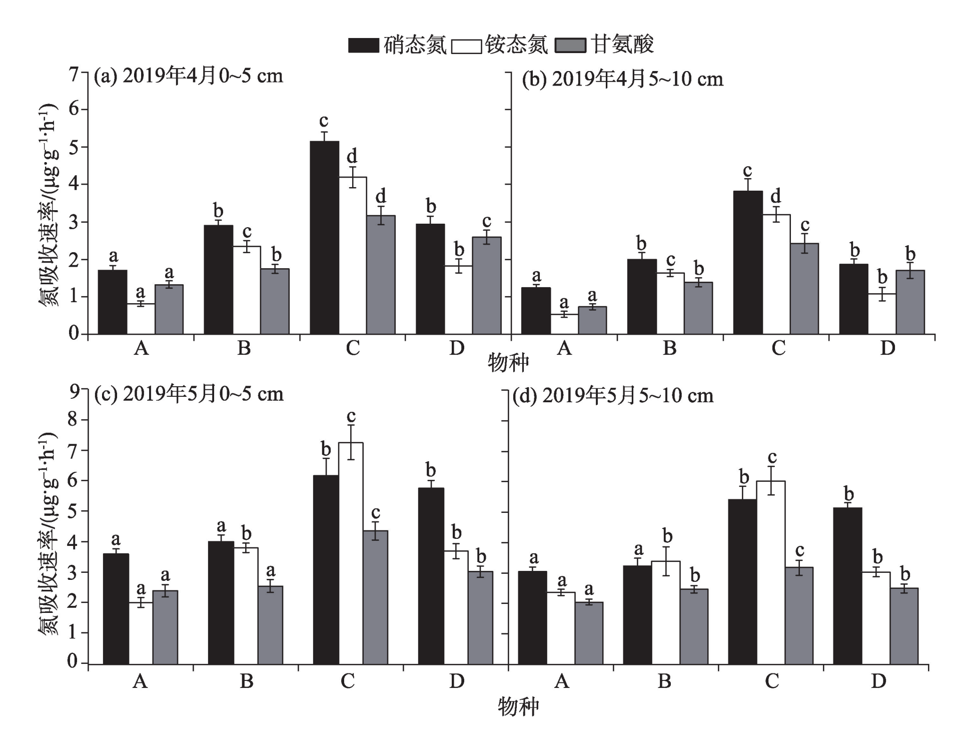
1.4 数据统计分析

用Excel 2019软件完成基本的数据录入与计算，采用单因素方差分析方法，分析了4种植物之间2个采样月份和2个土层之间的生物量，每种氮素形态的吸收速率和回收率以及氮素吸收量，用SPSS 19.0软件进行统计分析。用Origin 2019b软件完成图表绘制。

2 结果与分析

2.1 短命植物氮素吸收速率的变化

由图1可知，从不同氮素形态来看，4月尖喙牻牛儿苗（1.700 μg·g^{-1}·h^{-1}）、琉苞菊（2.900 μg·g^{-1}·h^{-1}）、假狼紫草（5.147 μg·g^{-1}·h^{-1}）和飘带果（2.940 μg·g^{-1}·h^{-1}），4种植物的硝态氮吸收速率均最高，琉苞菊和假狼紫草的铵态氮吸收速率次之、甘氨酸吸收速率最低，尖喙牻牛儿苗和飘带果的铵态氮的吸收速率最低；而5月的氮素吸收速率，假狼紫草在2个土层深度的吸收速率变化趋势相同，即：铵态氮＞硝态氮＞甘氨酸；飘带果在2个土层深度的氮素吸收速



注：A为尖喙牻牛儿苗，B为琉苞菊，C为假狼紫草，D为飘带果；不同字母表示相同土层的不同植物对比差异显著（$P<0.05$）。下同。

图1 古尔班通古特沙漠4种主要短命植物氮吸收速率

Fig. 1 Nitrogen uptake rates of 4 major short-lived plants in the Gurbantunggut Desert

率变化趋势也相同，即：硝态氮>铵态氮>甘氨酸；琉苞菊在0~5 cm土层深度与飘带果的趋势相同，5~10 cm的趋势与假狼紫草相同；尖喙牻牛儿苗在不同土层深度的硝态氮的吸收速率均最高，0~5 cm甘氨酸较高，5~10 cm为铵态氮较高。这说明在4月的单位时间内，4种短命植物对硝态氮的吸收能力最强，5月假狼紫草对铵态氮的吸收能力最强，其他3种植物与4月相同。4种植物对于硝态氮、铵态氮和甘氨酸的吸收速率差异显著($P<0.05$)。不同物种、不同土层对于氮素吸收速率影响相对于不同月份、不同形态的氮素吸收速率影响较小。

2.2 短命植物氮素回收率的变化

古尔班通古特沙漠4种主要短命植物对^{15}N标记的硝态氮、铵态氮和甘氨酸的回收率结果如图2所示。从不同土壤深度来看，4月4种短命植物对硝态氮的回收率最高分别能达到34.0%、48.3%、64.3%和42.0%，且浅层土壤的硝态氮回收率均大于深层土壤，铵态氮和甘氨酸也是如此；5月的假狼紫草的回收率为铵态氮较高，达到90.7%，尖喙牻牛儿苗、琉苞菊和飘带果均为硝态氮较高，分别达到71.7%、66.7%和82.0%，且浅层土壤的同类氮素化合物的回收率均大于深层土壤。从氮素化合物形态上看，4种短命植物大多数时候更偏好回收硝态氮，4月假狼紫草(47.7%~64.3%)>琉苞菊(33.3%~48.3%)>飘带果(26.7%~42.0%)>尖喙牻牛儿苗(24.7%~34.0%)，5月飘带果(73.3%~82.0%)>假狼紫草(67.7%~77.0%)>尖喙牻牛儿苗(61.0%~71.7%)>琉苞菊(54.0%~67.7%)，有时铵态氮的回收率大于硝态氮，同时也不能忽略甘氨酸的回收率。这说明4种短命植物对于甘氨酸的吸收能力较弱，对于硝态氮和铵态氮的吸收能力较强；4种植物对于硝态氮、铵态氮和甘氨酸的回收率差异显著($P<0.05$)。

总体而言，在土壤深度0~5 cm范围内，5月4种植物的氮素回收率均高于4月的氮素回收率，对于不同形态氮素的回收率，甘氨酸均低于硝态氮和铵态氮；土壤深度5~10 cm范围内，也是如此。这说明不同物种、不同月份、不同土壤深度和不同形态对植物的氮素回收率影响很大。

2.3 古尔班通古特沙漠短命植物总的植物^{15}N吸收

古尔班通古特沙漠4种短命植物对^{15}N标记的硝态氮、铵态氮和甘氨酸的吸收值如表2、表3所示。从氮的吸收总量来看，不同月份植物总的氮吸收均为浅层土壤(0~5 cm)吸收值较高，5月总的植物^{15}N吸收均大于4月总的植物^{15}N吸收。假狼紫草的^{15}N吸收为4种植物中最高，达到53.84 μg·m^{-2}，其次为琉苞菊总^{15}N吸收量为40.88 μg·m^{-2}，飘带果和

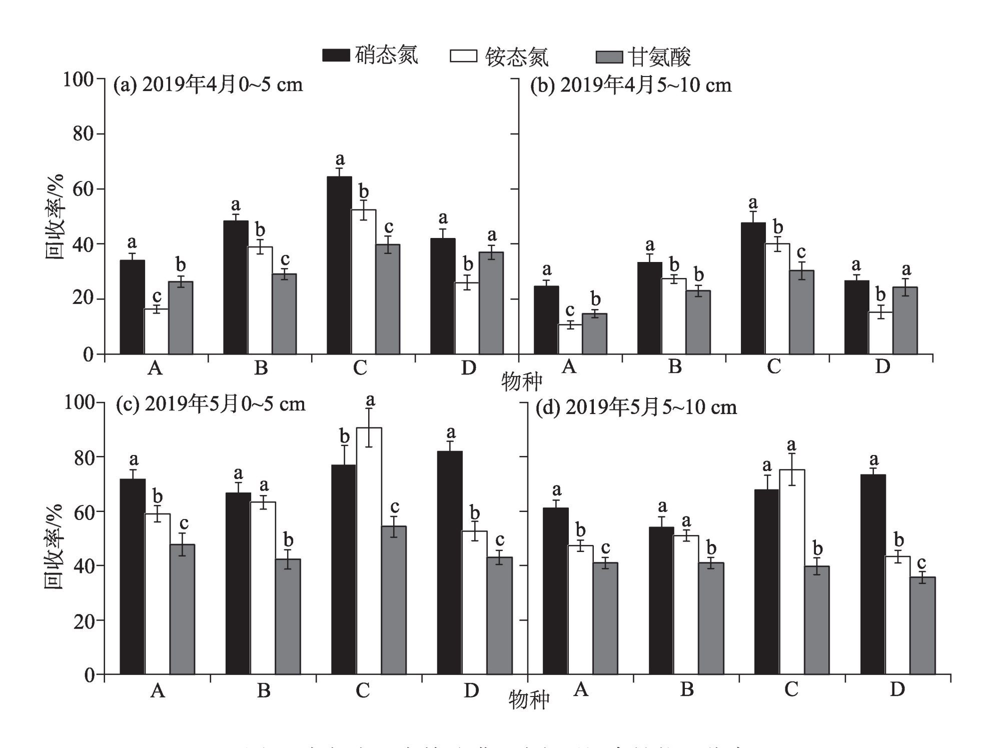


图2 古尔班通古特沙漠4种主要短命植物回收率

Fig. 2 Recovery rates of 4 major short-nutritional plants in Gurbantunggut Desert

表2 2019年4月4种短命植物总的植物 ^{15}N 吸收

Tab. 2 Total N uptake by four ephemeral plants in April 2019

物种	0~5 cm				5~10 cm			
	硝态氮	铵态氮	甘氨酸	总氮	硝态氮	铵态氮	甘氨酸	总氮
A	2.70±0.21a	1.30±0.12a	2.09±0.17a	6.08±0.25a	1.96±0.17a	0.84±0.12a	1.16±0.12a	3.97±0.16a
B	3.50±0.63b	3.09±0.21c	2.30±0.16a	9.23±0.54c	2.65±0.24b	2.17±0.12c	1.92±0.16b	6.64±0.30c
C	5.11±0.26c	4.15±0.28d	3.14±0.24b	12.40±0.56d	3.78±0.33c	3.17±0.21d	2.40±0.25c	9.36±0.28d
D	3.33±0.24ab	2.06±0.21b	2.93±0.21b	8.33±0.24b	2.12±0.17a	1.22±0.20b	1.93±0.24b	5.26±0.25b

注:A为尖喙牻牛儿苗,B为琉苞菊,C为假狼紫草,D为飘带果;同列不同字母表示同一土层不同植物在0.05水平上差异显著。下同。

表3 2019年5月4种短命植物总的植物 ^{15}N 吸收

Tab. 3 Total N uptake by four ephemeral plants in May 2019

物种	0~5 cm				5~10 cm			
	硝态氮	铵态氮	甘氨酸	总氮	硝态氮	铵态氮	甘氨酸	总氮
A	5.69±0.28ab	4.68±0.24ab	3.78±0.33ab	14.15±0.78a	4.84±0.24ab	3.76±0.17ab	3.25±0.16b	11.85±0.66b
B	5.29±0.30a	5.02±0.20b	3.35±0.28a	13.66±0.86a	4.29±0.32a	4.04±0.16b	3.26±0.16b	11.59±0.44b
C	6.11±0.57bc	7.19±0.56c	4.31±0.40b	17.61±1.19b	5.37±0.44bc	5.97±0.46c	3.14±0.24ab	14.48±1.22c
D	6.51±0.29c	4.18±0.28a	3.41±0.21a	14.10±1.32b	5.82±0.20c	3.44±0.18a	2.83±0.17a	12.09±1.29a

尖喙牻牛儿苗总的氮吸收分别为39.78 μg·m^{-2}和36.05 μg·m^{-2}。从氮化合物的形态看,对甘氨酸吸收最高的为假狼紫草,总计可达12.99 μg·m^{-2},其次为飘带果为11.10 μg·m^{-2},再次为琉苞菊为10.83 μg·m^{-2},最后为尖喙牻牛儿苗为10.28 μg·m^{-2}。对于铵态氮吸收最高的为假狼紫草,可达20.48 μg·m^{-2},琉苞菊、飘带果和尖喙牻牛儿苗次之,吸收值在10.58~14.32 μg·m^{-2}。植物对硝态氮的吸收:假狼紫草(20.37 μg·m^{-2})>飘带果(17.78 μg·m^{-2})>琉苞菊(15.73 μg·m^{-2})>尖喙牻牛儿苗(15.19 μg·m^{-2})。

总之,古尔班通古特沙漠中尖喙牻牛儿苗对 ^{15}N 吸收量最小,表明尖喙牻牛儿苗对土壤氮的依赖性最低,能更好地生存于低氮环境中。尖喙牻牛儿苗、琉苞菊、假狼紫草和飘带果不仅可以利用土壤无机氮,还可以有效利用土壤有机氮,且尖喙牻牛儿苗和飘带果对硝态氮有明显的吸收偏好。结果表明:同一生长型的不同植物种对氮素的吸收能力存在差异和多元化的特点,且部分植物种可以有效利用土壤中的可溶性有机氮。

3 讨 论

利用 ^{15}N 标记法,研究了古尔班通古特沙漠4种短命植物尖喙牻牛儿苗、琉苞菊、假狼紫草和飘带果对有机和无机氮的吸收策略。在古尔班通古特这一温带沙漠上,4种短命植物均能吸收相当数量的甘氨酸。Stoelken等[18]对于山毛榉树的研究也显示了植物对于有机氮-甘氨酸的偏好。在高肥力土壤中,植物主要吸收铵态氮;但在古尔班通古特沙漠这种低肥力土壤中,则是硝态氮的贡献更大,Emily等[19]的研究表明,植物对氨基酸氮的吸收比铵态氮和硝态氮的4倍还多。与本试验研究有一定的差异,可能是地理环境所导致的吸收比的差异。但同样说明了植物需要有机氮作为氮素缺乏时的有效氮源补充。在本研究中,古尔班通古特沙漠4种短命植物尖喙牻牛儿苗、琉苞菊、假狼紫草和飘带果都可以利用土壤中的有效氮源,有机氮-甘氨酸占吸收总氮比例的24.13%~28.52%。因此,在古尔班通古特沙漠生态系统中,短命生活型的植物对氮素的吸收能力有着差异和多元化的特点,且均可吸收土壤中的可溶性的有机态氮源。这样短命生活型的植物种占据不同的生态位,不仅减少了生存竞争,同时也提高了对土壤中有限资源的利用。可以更深入的解释以速效氮为限制因子的温带沙漠生境中的植物是如何高效利用有限氮资源。

一般认为,植物吸收 NO_3^--N的过程会比吸收 NH_4^+-N的过程耗费更多的能量[20],土壤 NH_4^+-N被植物吸收、进入植物根系后直接转化,变成谷氨酸盐从而被直接利用,而植物在吸收 NO_3^--N的过程必须通过消耗较多能量的硝酸盐还原途径才能被植物吸收利用[21]。因此,相对于 NO_3^--N,植物通常

更偏好吸收土壤中的NH_4^+-N[22]。然而,本研究结果表明:古尔班通古特沙漠短命植物尖喙牻牛儿苗、琉苞菊和飘带果都显示出对NO_3^--N的偏好吸收,这3种植物表现出了对NO_3^--N的最大吸收能力。此外,4种短命的植物均对有机氮-甘氨酸表现出了较高的吸收速率,表明了单位时间内,植物对有机氮-甘氨酸的吸收能力较高。该研究结果与大部分前人研究认为的植物偏好吸收和利用土壤NH_4^+-N的观点不一致。我们推测一个重要的原因可能与试验样地土壤中较高的NO_3^--N含量有关。前人研究发现,土壤中N含量可以对植物的吸收产生影响,当土壤中各种N的有效性发生变化时,植物会调整自身对N的吸收偏好,以适应土壤中不同的有效氮素比例[23-24]。另外,NO_3^--N在土壤中能更好的移动,这也可能导致植物表现出对NO_3^--N更偏好的吸收[25]。笔者在研究中还发现,古尔班通古特沙漠中这4种短命植物的根系大多分布在0~5 cm浅层土壤中,正是这种根系分布特征,使得4种植物氮素吸收速率、回收率和总的^{15}N吸收均为浅层土壤高于深层土壤。然而,不同生态系统中的植物对NO_3^--N和NH_4^+-N的偏好吸收与利用的影响因素与调控机制仍不清楚,需要结合土壤温湿度及其他环境因子进一步开展深入研究。

比较4种植物,尖喙牻牛儿苗、琉苞菊、假狼紫草和飘带果对植物氮的吸收差异较大。总体来看,飘带果吸收速率>假狼紫草吸收速率>琉苞菊吸收速率>尖喙牻牛儿苗吸收速率。植物对于无机氮来源的N^-的吸收速率高于甘氨酸来源的N^-,且NO_3^--N和NH_4^+-N之间的无机氮吸收速率在不同月份、土层深度和树种之间有一定的差异;但是在氮素最大吸收能力上4种短命植物又表现出了不一样的特点:假狼紫草>飘带果>琉苞菊>尖喙牻牛儿苗,短命植物的无机氮最大吸收能力>短命植物的有机氮最大吸收能力,这说明在氮素匮乏的古尔班通古特沙漠中,植物会表现出对无机氮的依赖性,但是植物必须利用土壤中的有效有机氮,来补充自身生长发育、繁殖后代所需要的氮素,而且植物会随着土壤中氮素的比例来调整自身对氮素的偏好[26]。这与闵孝君等[27]的研究结果相似。

4 结 论

在不同土层深度,4种植物在浅层土壤的氮素吸收速率均高于在深层土壤的氮素吸收速率;对于不同形态氮素的吸收速率,甘氨酸均低于硝态氮和铵态氮;在不同生长季节,5月4种植物的氮素吸收速率均高于4月的氮素吸收速率。在古尔班通古特沙漠中,进行植物氮素吸收策略的研究,对于荒漠生态系统在环境变化条件下的营养评估和受损后系统恢复的营养管理具有重要意义。本研究可作为沙漠生态恢复时外来氮素输入数量的参考依据,更进一步的研究还需要结合古尔班通古特沙漠样地的土壤数据进行深入分析,才能得出荒漠土壤低的氮素营养是怎样满足大量草本植物的快速生长这一科学问题。

参考文献(References):

[1] Zhu Q, Zhuang Q. Modeling the effects of organic nitrogen uptake by plants on the carbon cycling of boreal forest and tundra ecosystems[J]. Biogeosciences, 2013, 10(12): 7943-7955.

[2] 刘秋霞, 任涛, 廖世鹏, 等. 不同氮素供应对油菜苗期生长及碳氮分配的影响[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(1): 92-100. [Liu Qiuxia, Ren Tao, Liao Shipeng, et al. Effect of different nitrogen application on seedling growth and allocation of carbon and nitrogen in oil seed rape[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2019, 41(1): 92-100.]

[3] Schoener T W. Resource partitioning in ecological communities[J]. Science, 1974, 185(4145): 27-39.

[4] Gough L, Osenberg C W, Gross K L, et al. Fertilization effects on species density and primary productivity in herbaceous plant communities[J]. Oikos, 2000, 89(3): 428-439.

[5] Clark C M, Tilman D. Loss of plant species after chronic low-level nitrogen deposition to prairie grasslands[J]. Nature, 2008, 451 (7179): 712-715.

[6] 杨洁, 单立山, 白亚梅, 等. 氮添加和降水变化对红砂生理指标的影响[J]. 干旱区研究, 2021, 38(2): 460-468. [Yang Jie, Shan Lishan, Bai Yamei, et al. Effects of nitrogen addition and precipitation on *Reaumuria soongorica* physiological indices[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(2): 460-480.

[7] 姚凡云, 朱彪, 杜恩在. ^{15}N自然丰度法在陆地生态系统氮循环研究中的应用[J]. 植物生态学报, 2012, 36(4): 346-352. [Yao Fanyun, Zhu Biao, Du Enzai. Use of ^{15}N natural abundance in nitrogen cycling of terrestrial ecosystems[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(4): 346-352.]

[8] Mechthild T, Celine M D. Source and sink mechanisms of nitrogen transport and use[J]. New Phytologist, 2018, 217(1): 35-42.

[9] Chen J, Carrillo Y, Pendall E, et al. Soil microbes compete strongly with plants for soil inorganic and amino acid nitrogen in a semi-arid grassland exposed to elevated CO_2 and warming[J]. Ecosys-

tems, 2015, 18(5): 867–880.

[10] 闫小莉, 胡文佳, 马远帆, 等. 异质性供氮环境下杉木、马尾松、木荷氮素吸收偏好及其根系觅氮策略[J]. 林业科学, 2020, 56(2): 1–11. [Yao Xiaoli, Hu Wenjia, Ma Yuanfan, et al. Nitrogen uptake preference of *Cunninghamia lanceolata*, *Pinus massoniana*, and *Schima superba* under heterogeneous nitrogen supply environment and their root foraging strategies[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2020, 56(2): 1–11.]

[11] 张立运, 陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点[J]. 生态学报, 2002, 22(11): 1923–1930. [Zhang Liyun, Chen Changdu. On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut Sandy Desert[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(11): 1923–1930.]

[12] Wang R X, Tian Y Q, Ou Y S, et al. Nitrogen acquisition strategies used by *Leymus chinensis* and *Stipa grandis* in temperate steppes [J]. Biology and Fertility of Soils, 2016, 52(7): 951–961.

[13] 陶冶, 吴甘霖, 刘耀斌, 等. 古尔班通古特沙漠典型灌木群落土壤化学计量特征及其影响因素[J]. 中国沙漠, 2017, 37(2): 305–314. [Tao Ye, Wu Ganlin, Liu Yaobin, et al. Soil stoichiometry and their influencing factors in typical shrub communities in the Gurbantunggut Desert[J]. China Journal of Desert Research, 2017, 37(2): 305–314.]

[14] Mckane R B, Johnson L C, Shaver G R, et al. Resource-based niches provide a basis for plant species diversity and dominance in arctic tundra[J]. Nature, 2002, 415(6867): 68–71.

[15] Jacob A, Leuschner C. Complementarity in the use of nitrogen forms in a temperate broad-leaved mixed forest[J]. Plant Ecology & Diversity, 2015, 8(2): 243–258.

[16] Karina E C, Pernille L S, Anders M, et al. Site-dependent N uptake from N-form mixtures by arctic plants, soil microbes and ectomycorrhizal fungi[J]. Oecologia, 2008, 155(4): 771–783.

[17] 孟森. 林木细根氮素吸收动态及氮转运蛋白基因表达[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016. [Meng Sen. Nitrogen Dynamic Uptake and Genetic Expression of Translocator of Tree Species in Fine Roots[D]. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University, 2016.]

[18] Stoelken G, Simon J, Ehlting B, et al. The presence of amino acids affects inorganic N uptake in non-mycorrhizal seedlings of European beech (*Fagus sylvatica*)[J]. Tree Physiology, 2010, 30(9): 1118–1128.

[19] Emily E S, David E R. Amino acid uptake by temperate tree species characteristic of low-and high-fertility habitats[J]. Oecologia, 2011, 167(2): 547–557.

[20] Wang L X, Macko S A. Constrained preferences in nitrogen uptake across plant species and environments[J]. Plant, Cell & Environment, 2011, 34(3): 525–534.

[21] Templer P H, Dawson T E. Nitrogen uptake by four tree species of the Catskill Mountains, New York: Implications for forest N dynamics[J]. Plant and Soil, 2004, 262(1–2): 251–261.

[22] Adrien C F, Sean T B. The uptake of amino acids by microbes and trees in three cold-temperate forests[J]. Ecology, 2005, 86(12): 3345–3353.

[23] 勒佳佳, 苏原, 彭庆文, 等. 氮添加对天山高寒草原土壤酶活性和酶化学计量特征的影响[J]. 干旱区研究, 2020, 37(2): 382–389. [Le Jiajia, Su Yuan, Peng Qingwen, et al. Effects of nitrogen addition on soil enzyme activities and ecoenzymatic stoichiometry in alpine grassland of the Tianshan Mountains[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(2): 382–389.]

[24] 王士红, 聂军军, 李秋芝, 等. 施氮量对土壤-棉花系统中氮素吸收利用和氮素去向的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(4): 738–745. [Wang Shihong, Nie Junjun, Li Qiuzhi, et al. Effects of nitrogen application rate on nitrogen absorption and utilization, and fate of nitrogen in soil-cotton system[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2020, 26(4): 738–745.]

[25] Li Y, Sun D, Li D, et al. Effects of warming on ectomycorrhizal colonization and nitrogen nutrition of *Picea asperata* seedlings grown in two contrasting forest ecosystems[J]. Scientific Reports, 2015, 5: 17546.

[26] 罗绪强, 张桂玲, 王世杰, 等. 喀斯特高原黄壤区退化植物群落常见植物叶片氮同位素组成[J]. 地球与环境, 2019, 47(2): 113–120. [Luo Xuqiang, Zhang Guiling, Wang Shijie, et al. Nitrogen isotope ratios in leaves from degraded plant communities in a yellow soil region of the Karst Plateau[J]. Earth and Environment, 2019, 47(2): 113–120.]

[27] 闵孝君, 马剑英, 臧永新. 水、盐胁迫下长穗柽柳和梭梭碳氮同位素组成的变化特征[J]. 干旱区研究, 2017, 34(5): 1109–1116. [Min Xiaojun, Ma Jianying, Zan Yongxin. Effects of water and salinity stress on carbon and nitrogen isotopic compositions in leaves of *Tamarix elongata* and *Haloxylon ammodendron*[J]. Arid Zone Research, 2017, 34(5): 1109–1116.]

Nitrogen uptake strategies of short-lived plants in the Gurbantunggut Desert

ZHUANG Weiwei[1,2,3], HOU Baolin[1,2,3]

(1. Xinjiang Key Laboratory of Special Species Conservation and Regulatory Biology, Urumqi 830000, Xinjiang, China; 2. Key Laboratory of Special Environment Biodiversity Application and Regulation in Xinjiang, Urumqi 830000, Xinjiang, China; 3. Key Laboratory of Plant Stress Biology in Arid Land, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

Abstract: Investigation into whether there is ecological niche separation of nitrogen (N) utilization by the same living type of plants in desert ecosystems can help in elucidating the survival strategies of desert plants and the influence of N on the survival of these plants. In the Gurbantunggut Desert, four short-lived herbaceous plants—*Erodium oxyrrhynchum*, *Hyalea pulchella*, *Nonea caspica*, and *Lactuca undulata*—are distributed widely. The uptake of different forms of N by these four plants was investigated at different soil depths in different months. The findings revealed that the N uptake rates of all four species in May were higher than were those in April at different soil depths. As for the uptake rates of different forms of N, that of glycine was lower than that of both nitrate and ammonium N. The highest recovery of nitrate N was achieved by *N. caspica* in April, up to 52.3%. Meanwhile, the highest recovery of ammonium N was achieved by *N. caspica* in May, reaching 90.7%. The uptake of ^{15}N by *H. pulchella* was lower than was that by the other three species. The four short-lived plants could efficiently utilize not only soil inorganic N but also soil organic N, and *E. oxyrrhynchum* and *L. undulata* displayed a significant preference for nitrate N uptake. The findings reveal that in the Gurbantunggut Desert ecosystem, short- lived plants have differential and diversified N uptake capacity and can all absorb soluble organic state N sources from the soil.

Keywords: eremophytes; isotopic labeling; nitrogen absorption; Gurbantunggut Desert